35

NUOVI STUDI
DELLA
STAZIONE CHIMICO - AGRARIA SPERIMENTALE DI UDINE

PUBBLICAZIONE N. 63

ALVISE COMEL

CONTRIBUTI ALLO STUDIO DEI TERRENI
RICCHI DI SOSTANZA ORGANICA DEL FRIULI

II.

LA PODZOLIZZAZIONE DEL SUOLO

NUOVI STUDI
DELLA
STAZIONE CHIMICO - AGRARIA SPERIMENTALE DI UDINE

PUBBLICAZIONE N. 63

ALVISE COMEL

CONTRIBUTI ALLO STUDIO DEI TERRENI
RICCHI DI SOSTANZA ORGANICA DEL FRIULI

II.

LA PODZOLIZZAZIONE DEL SUOLO

LA PODZOLIZZAZIONE DEL SUOLO

GENERALITÀ

La podzolizzazione è quel processo pedogenetico che si svolge in un mezzo inizialmente (ossia in superficie) acido sotto l'influsso prevalente di una corrente acquea discendente, e che si conclude con la formazione di un Podzol.

Con questo nome russo, ormai accettato nel vocabolario della pedologia internazionale, ci si riferisce ad un terreno che nel suo più tipico profilo consta di tre principali orizzonti: uno superiore, ricco di sostanza organica, più o meno nerastro ed acido; uno, ad esso sottostante, più o meno biancastro, impoverito di sesquiossidi ferroalluminici e di particelle colloidali; ed uno più profondo, in genere arricchito con sostanze scese dall'alto con le acque di percolazione.

Il nome, come si è detto, è di origine russa e si vuole derivato dalle parole *pod* o *poda* che si dà al terreno, e da *zola* che significa cenere. Qualcuno [1]) interpreta invece la parola *pod* come *sotto*.

Si tratta dunque di un terreno che assomiglia alla cenere, per le tinte grigio chiare che si rinvengono a piccola profondità, e che spesso affiorano coi lavori campestri.

Lo stesso concetto è prevalso negli studiosi tedeschi che designano questi terreni anche col nome di *Bleicherdewaldböden,* e con quello di *Bleicherde* (terra pallida) l'orizzonte biancastro; meno frequentemente con quello di *Bleisand* (per il colore grigio plumbeo).

Noi non abbiamo un termine specifico per questi terreni di lisciviazione acida e pertanto tosto ci si pone il problema di come comportarci nel nostro idioma con questo tipo pedologico.

Le soluzioni possibili sono tre: creare un nome nuovo, italianizzare il nome russo, accettarlo integralmente.

Rinuncerei alla prima soluzione per non appesantire ulteriormente la già pesante nomenclatura pedologica; ed anche perché il termine

---

[1]) WALTER, H.: *Die Vegetation Osteuropas.* (2 Aufl.). Berlin, 1943. Pag. 51.

originario è talmente diffuso ed accettato nell'uso internazionale da costituire ormai l'espressione molto caratteristica di un concetto specifico.

Rinuncerei pure alla seconda soluzione, quella cioè di dare una parvenza di italianità al nome straniero aggiungendovi una « o » finale, similmente a quanto si è fatto con certi cognomi di eminenti personalità straniere (Keplero, Lutero, ecc.), che sarebbe stato molto meglio conservare nella loro forma originaria, come non si sono modificati i cognomi di altre personalità straniere non meno illustri (Wagner, ecc.).

Proporrei pertanto di mantenere integro il nome di Podzol, tanto al singolare, quanto al plurale. Escluderei, di conseguenza, in quest'ultimo caso, i nomi con la desinenza in « i » (Podzoli) od anche in « s » (Podzols), forma quest'ultima non italiana. L'articolo sarà sufficiente a specificare e a distinguere il singolare dal plurale come pure i relativi casi della declinazione. Diremo pertanto il Podzol ed i Podzol; del Podzol e dei Podzol, ecc.

Riguardo all'ortografia, ossia se scrivere il nome con la p maiuscola oppure minuscola, penso che sia più esatto considerarlo alla stregua dei nomi propri e pertanto scriverlo coll'iniziale maiuscola. Nei testi stampati non occorrerà ricorrere all'uso del corsivo, ma mantenere il carattere normale usato per la rimanente composizione a stampa.

Verbi o aggettivi derivati da questo nome si scriveranno, invece, coll'iniziale minuscola (p.es. podzolizzare, la podzolizzazione, ecc.).

Per quanto riguarda la forma ortografica più esatta fra Podsol, largamente usata in Italia, Spagna e Germania, e quella di Podzol, più diffusa in Francia e nel mondo anglosassone, penso che quest'ultima sia la più esatta in quanto che « z » corrisponde al cirillico « 3 » ed « s » a « c »; ed è nel primo modo che viene riportata dai testi russi [1]).

L'AMBIENTE CLIMATICO DELLA PODZOLIZZAZIONE

La podzolizzazione del suolo è un processo che si manifesta nei climi umidi, ossia in contrade ove il complesso delle precipitazioni supera il contingente acqueo che lascia il terreno allo stato di vapore (evaporazione, traspirazione, ecc.), in terreni dotati di permeabilità sufficiente per permettere l'infiltrazione delle acque meteoriche e la loro percolazione, in modo da non ristagnare in esso.

---

[1]) Cfr. ad es. nel Vocabolario poliglotta (multilingue) della Scienza del Suolo edito dalla FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) nel 1960, la differenza fra le parole Podzol (pag. 274) e Sierozem (pag. 306) o Solonetz (pag. 313).

Sebbene teoricamente non indispensabile [1]), tuttavia per la sua realizzazione è molto importante il contributo della vegetazione, quale apportatrice della sostanza organica, che poi attraverso i suoi prodotti di decomposizione e di umificazione facilita l'intacco della parte minerale del suolo e la migrazione nel sottosuolo dei prodotti della sua scomposizione.

I consorzi vegetali dominanti sono quelli che caratterizzano la foresta e, più limitatamente, le consociazioni della brughiera o dei prati d'alta montagna.

In Europa questa zona fitoclimatica segue di regola quella della tundra, situata più a settentrione, e si spinge notevolmente verso mezzogiorno con orientamento nord-ovest. Nella regione degli Urali, infatti, essa è compresa fra il circolo polare artico e circa il 57° parallelo; nell'Europa centrale, invece, scende fino al 50° parallelo. Si estende dunque su gran parte della Russia, dei Paesi Baltici, della Polonia, della Danimarca e Scandinavia, della Germania, Francia ed Inghilterra.

Il clima della zona podzolica presenta evidentemente grandi variazioni. Quale grande media, però, e a titolo orientativo, può essere espresso da una temperatura media annua di 4°C e da una precipitazione media annua di 500-600 millimetri. Il rapporto fra piovosità e temperatura supera di regola il valore di 100. Ma nei particolari la possibilità di varianti può essere invero molto cospicua da zona a zona. Basti pensare che mentre al limite settentrionale verso la tundra la temperatura media del mese di luglio è di 10°C, al limite meridionale, verso le steppe russe, è di 20°C.

In genere la copertura nevosa si mantiene sul terreno per sei mesi ossia dai primi di ottobre a fine marzo. Il periodo con temperature giornaliere inferiori a 0° dura da 140 a 160 giorni; quello caldo, estivo, con medie giornaliere superiori a 15°C, solo tre mesi.

In queste condizioni è ben comprensibile come precipitazioni anche modeste, quali sono i 500 mm annui, possono determinare ugualmente un clima umido. E' stato infatti constatato anche sperimentalmente che in queste contrade l'evaporazione di una superficie di acqua libera

---

[1]) GEDROIZ, infatti, ritiene che il fenomeno fondamentale della podzolizzazione risieda nella progressiva sostituzione degli ioni idrogeno alle basi alcaline ed alcalino-terrose del complesso adsorbente del terreno determinandovi o favorendo la dispersione e la scomposizione. Dagli orizzonti superiori (A) del terreno verrebbero così allontanate non solo le basi, ma anche gli idrati ferroalluminici e silicici.

Secondo questa concezione si dimostrerebbe che la podzolizzazione teoricamente potrebbe esplicarsi anche in assenza di sostanza organica.

(GEDROIZ, K.K.: *Die Lehre vom Adsorptionsvermögen der Böden.* Dresden - Leipzig, 1931.

COMEL, A.: *Ricerche sull'"Alios" della zona litoranea romana.* Atti della Pontificia Accademia delle Scienze Nuovi Lincei. Roma, 1933. T. LXXXVI).

è inferiore all'altezza della precipitazione. Solo al limite meridionale della zona fitoclimatica del Podzol, in corrispondenza delle foreste a querce, l'evaporazione annua bilancia la quantità della precipitazione; ma ormai anche il Podzol passa ad altri tipi pedologici caratterizzati da sostanze organiche umificate di tipo più dolce.

Col procedere da settentrione verso mezzogiorno anche la fisionomia botanica dei consorzi vegetali forestali va mutando. I fitogeografi, infatti, vi hanno riscontrato quattro zone, ognuna delle quali suddivisibile nei settori: occidentale, centrale e orientale [1]). Così ad esempio, nelle latitudini più settentrionali le foreste sarebbero costituite essenzialmente da conifere; abete rosso *(Picea excelsa)* sui terreni migliori, e pinastri *(Pinus silvestris)* su quelli più magri. Ad esse i russi danno il nome di Taiga e corrispondono all'area di più intensa podzolizzazione del suolo.

Nella zona successiva ha inizio l'infiltrazione di essenze a latifoglie (querce, tigli, aceri, olmi, ecc.); le conifere mantengono tuttavia ancora un netto sopravvento.

Nella terza zona, particolarmente sviluppata negli Stati Baltici, la compartecipazione degli alberi fronzuti è ancora maggiore; il che va accentuandosi ancor più nei settori occidentali dell'Europa: faggio, carpino e quercia si consociano o alternano a boschi di abete rosso e bianco. Il Podzol tende ad essere sostituito con altri tipi pedologici.

Si passa così alla quarta zona forestale, la più meridionale, ove le essenze a latifoglie sono ormai in netta prevalenza e spesso hanno l'esclusiva diffusione. Il tipico Podzol scompare.

Nell'Europa orientale, verso mezzogiorno, il Podzol si estingue nelle formazioni corrispondenti a climi più caldi ed asciutti con carattere di steppa; a occidente, invece, passa per lo più a termini pedologici caratteristici di contrade più calde, ma ancora subumide, che si esternano con terreni più poveri di sostanza organica *(terre brune)* e talora dotati di tinte vivaci *(terre gialle* e *terre rosse)*.

Col progressivo mutare delle essenze maggiori della foresta, gli alberi, muta pure la flora del sottobosco e quella erbacea, il che spesso può avere notevole ripercussione sulla natura del materiale organico che ricopre e costituisce gli orizzonti superiori del terreno. Mentre, infatti, nelle contrade più settentrionali le specie sono poco numerose e di scadente qualità, come ad esempio mirtilli e calluna, via via che si procede verso sud e che alle conifere si sostituiscono le latifoglie, anche il sottobosco va arricchendosi di specie e di essenze più pregiate. Il miglioramento dell'ambiente pedoclimatico si riflette dunque pure sulla flora, e questa a sua volta sul terreno in una reciproca armonia fra causa ed effetto.

---

[1]) WALTER, H.: *Op. cit.* Pag. 54.

Sia infine ricordato essersi constatato che negli ultimi secoli si è verificata una spinta verso sud dei consorzi vegetali più caratteristici di climi più freddi. La tundra ha invaso la zona marginale della foresta; i boschi di conifere si sono spinti nell'area occupata dai boschi con latifoglie, la foresta stessa si è dilatata su contrade già dominate dalla steppa. Molti residui di queste più antiche vegetazioni rappresentano pertanto oggi solo relitti di una antica maggiore estensione di una flora caratteristica di un ambiente fitogeografico più caldo di quello di oggidì.

La stessa cosa viene confermata dallo studio effettuato sui granuli di polline racchiusi nello spessore delle torbiere.

In certi casi, invece, è la foresta che si è arretrata in favore della steppa, ma non già per mutazione climatica, bensì a causa di intensi disboscamenti operati dall'uomo a scopo agricolo.

La pedogenesi ha spesso seguito questa evoluzione fitoclimatica, manifestando oggi forme pedologiche corrispondenti a tipi degradati.

Composizione del profilo

La caduta del fogliame e degli altri residui vegetali quali ramoscelli, scorze, corpi fruttiferi, ecc., qualora il processo della decomposizione non sia rapido, come in questo caso frequentemente si verifica per le particolari condizioni climatiche, determina il costituirsi di uno strato di residui vegetali che ricopre a guisa di manto la superficie del terreno.

Pur non facendo ancora parte integrante del terreno stesso, per non esservi incorporato, non può tuttavia considerarsi ad esso del tutto estraneo, perché spesso questa incorporazione viene gradualmente effettuata ad opera di animali che vivono nel terreno e perché costituisce una fonte di sostanze che passando in soluzione possono imprimere alle acque di infiltrazione forza di lavoro pedogenetico.

Lo spessore di questo strato organico di copertura può essere molto vario; vi influiscono la quantità e la qualità del fogliame e degli altri detriti caduti, come pure le condizioni più o meno propizie alla sua decomposizione.

In linea generale si può dire che le conifere forniscono in genere una materia prima molto resistente alla decomposizione, sia per la sua ricchezza in sostanze cerose, resinose e povere di residui minerali, sia perché a lor volta esse favoriscono la formazione di sostanze organiche umificate acide, spesso con effetto antibiotico, che valgono a rallentare la decomposizione stessa. A lor volta i boschi di conifere, essendo molto spesso legati a terreni magri e a climi rigidi, diventano di per sè l'espressione di un ambiente poco favorevole alla decompo-

sizione. I boschi di latifoglie, viceversa, salvo poche eccezioni, sia per esigere condizioni climatiche migliori, e terreni più ricchi di basi, forniscono fogliame più dotato di questi elementi, più favorevole alla decomposizione ed allo sviluppo dell'attività della microflora batterica e della pedofauna. La decomposizione si accelera lasciando nel terreno, o su di esso, solo pochi residui organici, che non raggiungono mai alti gradi di acidità.

Sui terreni a sostanze organiche acide, nel cospicuo cappello di copertura organica in fase di umificazione si possono distinguere tre sottorizzonti:

Il più superficiale è costituito da materiale di recente caduta, che conserva ancora integri, o quasi, i suoi elementi figurati (foglie, ramoscelli, corpi fruttiferi, ecc.); pertanto essi sono facilmente riconoscibili a occhio nudo e sono ancora in possesso della loro struttura anatomica.

Esso costituisce la *copertura morta* del terreno, sinonimo di *litter* (inglese), *litière du sol* (francese), *Streuschicht* (tedesco), *förna* (svedese).

Viene per lo più contrassegnato coi simboli di A_{00} o A'_0 oppure con la lettera L.

Segue un sottorizzonte intermedio, più vecchio, nel quale i residui organici già si trovano in fase di decomposizione, spesso favorita da un lavoro di sminuzzamento propiziatorio effettuato da insetti od altri animalucci del terreno, non ancora, o solo in piccola parte, da vermi, perché la reazione fortemente acida del mezzo non costituisce per essi un habitat adatto.

Le parti più tenere delle spoglie vegetali sono ormai in gran parte scomparse; quelle originariamente più resistenti, invece, sono ancora facilmente riconoscibili ma hanno in gran parte perso la loro coesione e si rompono facilmente e si sbriciolano fra le dita.

La massa organica è spesso tutta compenetrata ed avvolta da sottili filamenti bianchi e gialli di miceli fungini.

Questo sottorizzonte viene contrassegnato con la lettera A_0, rispettivamente con A''_0 e A_{F_1} o F_1; od anche con A_F o F.

Più sotto v'è un terzo sottorizzonte organico, ormai in gran parte di consistenza terrosa, di colore nerastro o bruno scuro. Lo compone una sostanza organica ormai completamente umificata, ad eccezione di pochi residui molto resistenti quali ad esempio gli strobili delle conifere. Spesso è attraversato dalle radici delle piante del sottobosco ed anche di quelle arboree.

È segnato coi simboli A_0 (come il precedente), rispettivamente, A'''_0, A_{F_2}, F_2 od anche A_H o H.

Nei terreni podzolizzati acidi il distacco della copertura organica dal terreno propriamente detto è spesso molto netto. Alle volte però

passa gradualmente nel suo più specifico orizzonte superiore (del suolo) a causa di una mescolanza più o meno intima e regolare della parte inorganica con quella organica scesa dall'alto con le acque di infiltrazione oppure effettuata dalla pedofauna.

Sotto lo strato organico della copertura morta si trova il primo orizzonte del terreno minerale. All'inizio è commisto a una certa quantità di sostanza organica infiltratasi dall'alto, il che vale a conferirgli un tono grigio od anche nerastro. Il contenuto in essa varia da poche percentuali (2-4%) a maggiori quantità (8-10%). Così pure lo spessore del sottorizzonte che può oscillare fra pochi centimetri e circa 15-25. Spaziano in esso radici degli alberi.

Questo sottorizzonte viene indicato con le lettere A_1, rispettivamente con A_h oppure anche, come quello precedente, con A_H o solo con H, dando evidentemente luogo ad una deplorevole confusione.

In seguito l'orizzonte A assume tinte chiare, biancastre, talora, in terreni sabbiosi, quasi nivee. Ciò è dovuto ad un asporto dei sesquiossidi ferroalluminici colloidali ed alla povertà di sostanza organica.

Questo sottorizzonte è tipico e più caratteristico dei Podzol maturi. Viene contrassegnato con A_2 od anche con A_e, intendendo riferire la lettera « e » al concetto di « eluviale ».

Il suo spessore, di regola, non supera i 25 cm.

L'intensità dello sbiancamento e la potenza di questo sottorizzonte molto dipendono dalla composizione mineralogica dei costituenti inorganici, nel senso di essere più o meno ricchi di selce e di quarzo, ossia di elementi non alterabili o sprovvisti di composti ferroalluminici e di basi alcalino-terrose, le quali ultime neutralizzando il terreno e gli acidi umici ostacolano la sua formazione.

Vi influisce poi la composizione granulometrica elementare del terreno, nel senso che i terreni sabbiosi sono più inclini a sviluppare questo sottorizzonte (A_2) che non i terreni argillosi.

Notevole importanza spetta, a sua volta, alla morfologia del territorio, essendosi osservato che mentre in zone pianeggianti il suo sviluppo tende ad essere uniforme, sulle sommità dei rilievi non solo è meno sviluppato, ma molto spesso assente.

Si è pure osservato che nelle regioni montuose in corrispondenza di rocce scistose il sottorizzonte A_2 difficilmente si forma nonostante favorevoli condizioni climatiche e di vegetazione.

Vi concorre inoltre la vegetazione con attitudini più o meno spiccate a produrre una sostanza umificata acida. Spoglie vegetali povere di ceneri, ed in modo particolare di basi, tendono, infatti, a fornire una sostanza organica di lenta decomposizione, poco gradita alla microfauna ed alla microflora batterica; resta pertanto lungamente sul posto e favorisce la formazione di sostanze umificate acide, con vistosi effetti sulla lisciviazione del suolo e pertanto con forte sviluppo del sottorizzonte A_2. Generalmente a questa flora ossifila si associa una roccia

madre particolarmente povera di elementi basici, causa diretta della rusticità della flora stessa ed indiretta della rapidità della podzolizzazione.

Anche l'età del terreno ha il suo peso. Si è infatti osservato che a parità di substrato litologico la podzolizzazione è molto più pronunciata nelle zone da più lungo tempo sottoposte all'azione pedogenetica.

Come vedremo, la più o meno accentuata manifestazione di questo sottorizzonte A_2 viene spesso presa quale criterio di riferimento per giudicare l'intensità della podzolizzazione del terreno.

Sia ancora ricordato che scorrendo i vari bollettini di analisi dei terreni podzolizzati tosto si rileva che rispetto alla roccia madre la silice è molto più alta in A_1 e A_2, come pure rispetto B.

Questo aumento, però, è solo relativo, in quanto effetto della diminuzione delle basi alcalino terrose ed alcaline e dei sesquiossidi, che sono stati asportati molto più energicamente della silice. E più precisamente questo arricchimento non viene fatto tanto a spese della silice dei silicati demoliti (felspati, minerali dell'argilla, ecc.), essa pure facilmente asportata, quanto di quella legata a forme mineralogiche poco o punto intaccabili in ambiente acido, quali il quarzo, la selce e pochi altri silicati molto resistenti.

Scriveva infatti GEDROIZ che se il processo della podzolizzazione poteva essere accompagnato da un accumulo di silice amorfa, in effetti ciò non aveva luogo in considerazione della tenue azione disgregante dell'acqua e delle consecutive piccole quantità di silice messe in libertà. Essa, pertanto, trovandosi allo stato di dispersione colloidale avrebbe dato coll'acqua del terreno soluzioni colloidali estremamente diluite dalle quali non avrebbe potuto essere flocculata che da forti elementi coagulanti, i quali però non potevano essere presenti, o solo in piccole quantità, nei terreni in fase di podsolizzazione. La silice pertanto in questo stato di soluzione colloidale avrebbe potuto migrare nel terreno ed anche abbandonarlo definitivamente con le acque di drenaggio [1]).

Nell'orizzonte A dunque (A_1 e A_2) aveva luogo un forte intacco e demolizione di tutti i minerali presenti, e specialmente di quelli costituenti la parte più sottile, argillosa, con successivo asporto dei prodotti disintegrati. Resistevano solo il quarzo, la selce e pochi altri minerali dotati di particolare resistenza.

Alcune analisi riportate da RODE ci daranno esempi molto significativi di quanto abbiamo più sopra esposto. Essi si riferiscono a due terreni fortemente podzolizzati sviluppantisi in corrispondenza di substrati limosi (I) ed argillosi (II) [2]).

---

[1]) GEDROIZ, K.K.: *Chemische Bodenanalyse.* Berlin, 1926. Pag. 128.
[2]) RODE: Op. cit. Pag. 322.

Contenuto in silice (in % in peso) di terreno considerato privo di acqua e di humus.

		Totale	Quarzo	Altrimenti combinata
I.	C	76.99	50.25	26.74
	A_1	84.53	60.86	23.67
	B	78.12	47.37	30.75
II.	C	66.25	26.56	38.69
	A_1	75.58	44.74	30.85
	B	66.59	28.75	37.84

Le sostanze che vengono asportate dall'orizzonte di eluviazione (A) in parte vengono definitivamente allontanate con le acque di drenaggio, in parte, invece, possono arricchire il sottostante orizzonte (B) che pertanto costituisce un orizzonte di accumulo, detto anche di illuviazione od illuviale; un livello del terreno, cioè, ove si depositano quantità più o meno rilevanti di sostanze scese in vario modo dagli orizzonti superiori del suolo. Alle volte può trattarsi di un semplice arresto per esaurimento delle acque di infiltrazione, oppure di una ritenuta meccanica di particelle sottilissime determinata da una diminuita porosità del suolo; più spesso si tratta di una precipitazione di origine chimico-colloidale per flocculazione di sostanze tenute in soluzione e che qui trovano un mezzo più ricco di cationi atti a determinarne la pectizzazione.

Quest'orizzonte di accumulo viene specificato con la lettera B, e con cifre al suo piede, quali ad esempio B_1, B_2, B_3, si indicano variazioni di caratteristiche pedologiche che si manifestano entro il suo spessore. Siccome, poi, spesso si tratta di distinguere un livello umifero da un altro, rosso ruggine, con prevalente accumulo di sesquiossidi ferro-alluminici, è frequente la sostituzione dei numeri cardinali con lettere dell'alfabeto. Si scrive, ad esempio, B_h per indicare un sottorizzonte arricchito con sostanze organiche umificate; B_s per quello effettuato in modo prevalente con sesquiossidi ferroalluminici, ecc.

Paragonando la composizione chimica di B con quella della roccia madre tale arricchimento risulta molto evidente.

Circa lo spessore e lo sviluppo che può assumere questo orizzonte di accumulo vale quanto si è detto per il soprastante A_2 col quale vi è spesso una stretta correlazione, nel senso che deboli sottorizzonti sbiancati sono seguiti da deboli orizzonti di arricchimento e viceversa.

La distribuzione del materiale di accumulo, e con esso quella del colore, può essere omogenea, oppure disposta su singoli strati, o in forma di concrezioni. La cementazione può variare fra tipi molli e friabili e quelli duri e compatti. Specialmente nei terreni sabbiosi

l'orizzonte cementato può essere talmente duro e lapideo da costituire un livello non solo impermeabile, ma anche impenetrabile per le radici delle piante [1]).

È infatti nei terreni sabbiosi che si verifica una più omogenea illuviazione delle sostanze, ed in modo particolare dei sesquiossidi ferroalluminici, mentre nei terreni argillosi questa deposizione ha luogo di preferenza in forma di concrezioni singole o lungo canalicoli delle radici, fessure, ecc.

Molto influisce, poi, la distribuzione delle piogge e con esse quella dell'umidità nel terreno. Si è prospettata in riguardo l'ipotesi che la formazione di forti accumuli di sostanza organica in questo orizzonte fosse connessa con una periodica essiccazione di questi livelli più profondi del terreno; nel senso che la precipitazione delle pellicole umifere attorno ai granuli minerali si effettuerebbe quando la solubilità in acqua dei prodotti formatisi diverrebbe troppo piccola per un ulteriore trasporto. In questo caso le prime a separarsi sarebbero le sostanze umificate di colore nerastro maggiormente polimerizzate. Viceversa si è voluto vedere la causa prima della formazione di orizzonti illuviali rossastri, ossia ferruginosi, nella presenza di un costante grado di umidità nel sottosuolo per il che le sostanze organiche non si depor-

---

[1]) Sotto il nome di *cementazione* va inteso qualsiasi consolidamento di materiali originariamente sciolti (nel senso fisico), oppure un irrobustimento ulteriore di materiali già dotati di una certa coesione, dovuto all'apporto e alla rideposizione di sostanze che nelle soluzioni circolanti del terreno si trovavano allo stato di soluzione, vera o colloidale, in modo da dare origine a un materiale d'aspetto roccioso, per lo più compatto e duro e notevolmente esteso.

Le cause più comuni che determinano l'arresto e la risolidificazione delle sostanze solute consistono per lo più nell'evaporazione del solvente o in una variazione chimica del mezzo, che determina una flocculazione di colloidi già tenuti in soluzione (colloidale).

Si parla, invece, di *concrezioni* quando la cementazione è localizzata su singoli punti oppure si abbia la rideposizione di sostanze originariamente disciolte, su singoli centri di deposizione. Le dimensioni delle concrezioni possono essere varie, ma per lo più sono inferiori ad un centimetro.

Col termine di *intasamento* o di *costipamento* del suolo (o del sottosuolo) ci si riferisce alla compattezza acquisita da certi livelli del terreno per apporto di sostanze estranee, senza che vi sia indurimento della massa terrosa. (COMEL, A.: *Il terreno agrario*. Udine, 1940).

Le forme indurite, che si possono considerare rocce di nuova formazione, vanno specificate col nome di *neoliti* (ossia pietre nuove) in sostituzione dei termini equivalenti stranieri *Ortstein, Alios,* ecc.

L'orizzonte che ne è provvisto si dirà *orizzonte a neoliti,* oppure *con neoliti,* evitando l'espressione *neolitico* che ha già un preciso significato in paletnologia ed archeologia.

Già nel 1937 quando introdussi questo nuovo vocabolo pedologico (COMEL, A.: *Elementi di pedologia climatica*) facevo però presente che nel riferirsi agli orizzonti che li contenevano era preferibile specificarli con i consueti termini: *orizzonte cementato* o *a concrezioni,* nel senso più sopra delucidato.

rebbero, ma raggiungerebbero il livello delle acque freatiche abbandonando con esse il terreno; oppure per venire qui favorita la loro graduale mineralizzazione darebbero luogo ad un accumulo indiretto di ferro e di alluminio. Il ferro messo in libertà sarebbe in un primo tempo in prevalenza allo stato ferroso, ma poi per ossidazione passerebbe allo stato ferrico.

La natura illuviale di B sarebbe pure confermata dalla presenza sulla superficie dei granuli minerali, o delle entità strutturali, di pellicole, o croste, dello spessore di circa 2-3 mm, di colore bruno scuro o rossobruno. Uno studio su esse avrebbe messo in evidenza che esse sono costituite da particelle più sottili che non quelle delle unità strutturali, ciò verosimilmente a causa del dilavamento delle sottili sospensioni dall'orizzonte di eluviazione in quello di illuviazione [1]).

Ricordiamo infine essersi fatto presente che in questo orizzonte B i prodotti di demolizione dei minerali avvenuta in A possono qui ricostituirsi dando origine a minerali dell'argilla di nuova formazione. In modo particolare l'allumina, combinandosi colla silice, col magnesio ed il potassio potrebbe dar luogo a minerali di tipo montmorillonitico, o sericitico, che possono contenere anche ferro [2]).

La sottostante roccia madre, ossia il substrato geo-litologico dalla cui alterazione è sorto il terreno, viene indicata con la lettera C.

Qualora a non molta distanza da esso si noti una sua sostanziale variazione che possa aver avuto qualche influenza sulla pedogenesi, la si contrassegna con la lettera D.

Questa più tipica configurazione del profilo di un Podzol non sempre si manifesta completamente ed omogeneamente sviluppata; né sempre la linea di separazione fra un orizzonte ed un altro è netta. Spesso anzi il passaggio è così graduale o compenetrato da rendere necessario un loro contrassegno. Questi livelli di transizione vengono pertanto specificati, ad esempio, secondo i casi, con A/B oppure, eventualmente, con B/C, ecc.

A sua volta anche il passaggio fra la parte in fase di alterazione e quella fresca più inalterata del substrato può essere oggetto di distinzione, ed in questo caso lo si fa aggiungendo un numero cardinale a piè lettera, per esempio, C_1, in contrapposto a C_2 con la quale si indica la massa inalterata della roccia madre.

Da quanto esposto si comprende ancora meglio che non tutti i terreni podzolizzati presentano uno stesso profilo, regolare ed omogeneamente sviluppato.

---

[1]) VILENSKII: Op. cit. Pag. 274.
[2]) RODE: Op. cit. Pag. 324.

Sotto questo rispetto, anzi, già da tempo si erano distinte tre manifestazioni che potevano anche considerarsi, sebbene non necessariamente, tre fasi della podzolizzazione.

In una fase iniziale, caratteristica dei terreni *debolmente podzolizzati* od *in fase di podzolizzazione,* lo spostamento dei sesquiossidi in profondità non era ancora direttamente percepibile all'osservazione diretta del terreno, ma svelabile con l'ausilio dell'analisi chimica. Il profilo appariva quindi sprovvisto dell'orizzonte A_2 (A_e), oppure lo era solo all'inizio della sua formazione appena percettibile da un leggero pallore al limite fra A_1 e B.

Si contemplava poi la fase di netta podzolizzazione dei terreni comune a tutti i *terreni normalmente podzolizzati.* In essi l'orizzonte A_2 era presente e facilmente riconoscibile anche ad occhio sia in forma di venature biancastre, o di chiazze, od anche in modo più continuo, ma ancor sempre di spessore piuttosto limitato.

Nella terza fase, di intensa podzolizzazione, caratteristica dei *terreni fortemente podzolizzati,* l'orizzonte biancastro A_2 non solo era bene sviluppato, ma anche nettamente distinto tanto da A_1 quanto da B.

Queste tre fasi della podzolizzazione non sempre sono un riflesso dell'età del terreno, ossia della durata dell'elaborazione pedogenetica, ma anche di quello di altri fattori che accelerano od attenuano l'intensità del processo.

La configurazione di un Podzol maturo si raggiunge, infatti, molto prima in terreni sabbiosi poveri di basi alcalino terrose, che non su substrati argillosi, ed in genere in tutte quelle circostanze che concorrono, come si è visto, alla formazione del sottorizzonte A_2.

Così pure molto vario può essere lo spessore del profilo sul quale molto vi influisce la permeabilità del terreno ed il tempo. Può ammontare a parecchi metri.

Accanto a questa classificazione che contempla lo stato di maturità del Podzol, i pedologi hanno pure cercato di definire, con appropriata terminologia, alcune più tipiche configurazioni dei profili maturi.

Col nome di *Podzol ferruginoso* ci si riferisce ad un terreno nettamente podzolizzato (fornito dunque del sottorizzonte A_2) nel cui orizzonte B (B_s) predominano decisamente illuviazioni ferruginose, o ferroalluminiche, che impartiscono al livello tinta rosso ruggine [1]).

Questo profilo si sviluppa di preferenza in corrispondenza di foreste di pini ed abeti, di larici, di betulle o di faggi con sottobosco di mirtilli. Possiede uno spesso strato di copertura morta e di feltro organico attraversato da miceli fungini, con reazione fortemente acida.

---

[1]) Sinonimi stranieri: Stark gebleichter rostfarbener Waldboden, Eisenpodsol. Podzol ferrugineux. Iron podzol.

L'orizzonte A_1 ha spesso solo esile spessore e talora è anche praticamente assente; A_2 si trova così quasi ad immediato contatto con la copertura organica.

L'orizzonte di illuviazione, B, è compatto, giallo ocraceo od anche rosso ruggine. Spesso al contatto con C si trova una zona di transizione più o meno sviluppata, B/C.

Col nome di *Podzol fortemente umifero* [1]) ci si riferisce ad un terreno fortemente podzolizzato in cui l'orizzonte di illuviazione possiede particolare ricchezza di sostanza organica umificata scesa dall'alto.

Si tratta di un terreno fortemente acido e povero di basi che si sviluppa su materiali già originariamente poveri di ferro e molto permeabili, quali lo sono ad esempio, le dune ed i terreni sabbiosi costituiti prevalentemente da quarzo, che trovano larga diffusione nell' Europa settentrionale.

La vegetazione dominante non è tanto la foresta, quanto piuttosto una consociazione vegetale arbustiva ed in modo particolare la Calluna. La permeabilità del suolo è buona e frequenti sono le alternanze dei periodi umidi con quelli secchi.

Il profilo è provvisto di un distinto orizzonte A_1 che si sviluppa sotto ad uno strato di copertura morta. Segue il caratteristico sottorizzonte sbiancato, A_2, che passa al sottostante livello di accumulo, B (B_h), di colore scuro, più cupo in superficie che non in profondità. Lo spessore di questo orizzonte è variabile, da qualche decimetro ad oltre 1 metro. La compattezza presenta pure molte varianti secondo le particolari condizioni dell'ambiente.

Spesso poi nella parte superiore del substrato pedologico si nota una zona di transizione B/C per la presenza di una zonatura nastriforme di sostanza organica che si fa progressivamente più sottile, o più chiara, fino a scomparire.

Fra questi due tipi più caratteristici di Podzol ora descritti vi sono evidentemente forme intermedie; così nei *Podzol ferroumiferi* [2]) l'orizzonte illuviale B è costituito da due distinti sottorizzonti: B_1, o B_h, di colore nerastro, ricco di sostanze organiche umificate; e B_2, o B_s, di colore giallastro o bruno rossiccio per presenza di sesquiossidi, ed in modo particolare di quelli del ferro che ne impartiscono la colorazione caratteristica.

Alle volte, però, i due sottorizzonti possono esser fusi in uno solo ottenendosi così il tipo misto B_{hs} ossia ricco contemporaneamente di sostanza organica umificata e di sesquiossidi.

---

[1]) Sinonimi stranieri: Humuspodsol. Podzol humique. Humus podzol.

[2]) Sinonimi stranieri: Eisenhumuspodsol. Podzol humo-ferrugineux.

Nel nostro termine « ferroumiferi » il concetto della compartecipazione del ferro è generico, non si riferisce pertanto ad una forma ferrosa.

Anche questi terreni sono di preferenza diffusi nelle contrade di brughiera dell'Europa settentrionale. Sono inoltre frequenti nelle zone d'Alta montagna verso il limite superiore della foresta, ove costituiscono una transizione verso i *Podzol d'Alta montagna* [1]) che si formano sotto una copertura essenzialmente erbacea.

Questi Podzol sono di regola poco profondi, con alterazione chimica poco accentuata, con tendenza ad avere solo esili orizzonti A_2 e B; spessi, invece, quelli umiferi spettanti ad A.

Nomenclatura del profilo di un Podzol

	A_{oo}	L		A'_o	Copertura morta	
	} A_o	F A_F	F_1 A_{F_1}	A_o A''_o		
		H A_H	F_2 A_{F_2}	A'''_o		
	A_1	A_h	H A_H	A_1	Orizzonte eluviale	umifero
	A_2	A_e	A_e	A_2		sbiancato
	B_1	B_h	B_H	B	Orizzonte illuviale	umifero
	B_2	B_s	B_s			ferroalluminifero
	C	C	C	C	Roccia madre	

I e II colonna da SCHEFFER-ULRICH. III colonna da KUBIENA. IV colonna da RODE. (Opere citate).

[1]) Alpiner Rasenpodsol.

Il meccanismo della podzolizzazione

Ricordate le caratteristiche fondamentali del profilo di questo tipo pedologico prendiamo ora in esame alcune più importanti caratteristiche chimiche dei singoli orizzonti, per quel tanto che ci possano far meglio comprendere il meccanismo della podzolizzazione.

Grande importanza sotto questo riguardo spetta allo strato organico di copertura, la cui natura botanica dei suoi costituenti originari può essere decisiva per molte caratteristiche della sostanza organica umificata che da essa trarrà origine, e soprattutto per il grado di acidità, che poi verrà impartito alle soluzioni che si infiltreranno nella massa terrosa compiendo un lavoro pedogenetico.

Non si dimentichi, infatti, che le radici della pianta spaziando negli strati profondi del suolo riescono ad assorbire una certa quantità di elementi basici, che poi distribuiranno a tutte le parti del loro organismo. Particolarmente ricche ne sono le foglie, e pertanto con la loro caduta portano nuovamente in superficie una considerevole quantità di quelle basi che le acque meteoriche di infiltrazione dilavano ed asportano dal terreno.

Da tempo è stato inoltre rilevato che la ricchezza relativa in elementi minerali nutritivi di una terra vegetale non è tanto dovuta agli elementi inorganici che vanno liberandosi dalla roccia madre, e che essendo per lo più in piccolissime quantità tendono ad essere asportati col drenaggio, quanto opera della vegetazione. E' la pianta che fissando gli elementi utili nei suoi tessuti e poi restituendoli periodicamente nel corso degli anni e dei secoli permette la loro conservazione e la loro concentrazione negli strati superiori del terreno, mentre altri sali solubili inutili od anche tossici vengono eliminati [1]).

Ma non tutte le foglie (ed altri detriti vegetali) hanno una stessa ricchezza di basi e non tutte allo stato fresco hanno uno stesso grado di acidità. Da tempo infatti si è notato che nonostante tutti i residui vegetali avessero in origine reazione acida, il grado di questa acidità era tanto minore quanto maggiore era la loro ricchezza in basi, ed in particolare in calcio.

Così per esempio, mentre la reazione delle foglioline di abete era di pH 4.3, quella degli aghi del pino era di pH 5.1; nelle foglie della

---

[1]) Viennot-Bourgin, G.: *Rapports du sol et de la végétation.* Paris, 1960. Pag. 2.

betulla essa saliva a pH 5.7, in quelle dell'acero a pH 6.1 ed in quelle dell'ontano a pH 6.4 [1]).

Si era però altresì constatato che questa reazione non era costante per tutte le piante e che molto esse ne risentivano della natura litologica del substrato sul quale vegetavano. Mentre in corrispondenza di terreni neutri questa differenza di reazione era molto spiccata per le varie essenze che costituivano la copertura morta del terreno, essa andava fortemente riducendosi qualora tutte le diverse piante vegetavano su terreni fortemente acidi. La stessa cosa valeva pure per un complesso di altre caratteristiche chimiche dei vegetali e loro coperture morte derivate. Mentre, infatti, in terreni normali appariva molto evidente la differenza in contenuto di cenere fra le piante resinose e quelle di alberi fronzuti, il contrasto andava molto attenuandosi quando i diversi vegetali erano costretti a vivere su terreni molto acidi [2]).

La composizione chimica della copertura morta forestale può dunque variare non solo con le singole specie botaniche che la producono, ma anche nell'ambito di una stessa specie a causa di un complesso di fattori che caratterizzano il mezzo che le ospita.

Già in partenza dunque nei boschi di conifere la sostanza madre delle sostanze umificate è di natura più acida che non nei boschi fronzuti, anche perchè le conifere, in qualità di vegetali molto frugali, si accontentano di terreni poveri ed acidi, e pertanto riescono a prosperare su terreni impropri a piante più esigenti, che a lor volta troveranno maggior diffusione su terreni più ricchi di basi che poi assorbite si diffonderanno in maggior copia nel vegetale stesso. Anche per questo complesso di correlazioni ed interazioni le conifere daranno necessariamente coperture morte con carattere acido molto più spiccato che non le latifoglie.

Questa distinzione fra conifere e piante resinose da un lato, e alberi fronzuti o latifoglie dall'altro non è però sempre netta. Come vedremo in seguito, il faggio ha un comportamento molto più vicino alle piante del primo citato gruppo, mentre il larice maggiormente si avvicina alle caratteristiche degli alberi fronzuti.

Col procedere della decomposizione in un primo tempo l'acidità delle coperture morte diminuisce ed in misura tanto più spiccata quanto maggiore ne era l'originaria alcalescenza, quanto più ricche esse erano di calcio, ed in forme più facilmente idrosolubili, sì da ridurre l'aci-

---

[1]) RODE: Op. cit. Pag. 314. Valori riferiti a fogliame di recente caduta autunnale.

[2]) LOSSAINT, P.: *Étude expérimentale de la mobilisation du fer des sols sous l'influence des litières forestières.* Annales Agronomiques. 1959. N. 4 et 5.

dità del mezzo, stimolando nel contempo l'attività faunistica e microbiologica del terreno. Lo stesso dicasi per le forme più ricche di azoto, per i conseguenti processi ed effetti dell'ammonizzazione.

In un secondo tempo l'acidità tende ad aumentare sia a causa del dilavamento delle basi solubili, sia per la formazione degli acidi umici.

LOSSAINT, che ha eseguito un complesso di ricerche molto importanti sulle coperture morte dei terreni forestali [1]) annovera fra i caratteri chimici suscettibili di presentare una certa importanza nei riguardi della velocità della decomposizione dei residui vegetali, la loro ricchezza in basi, l'acidità, il rapporto C/N, la quantità di sostanze idrosolubili e la frazione solubile in etere.

I risultati delle sue ricerche, pur andando presi nel senso indicativo, in quanto riferiti ai soggetti analizzati, danno adito alle seguenti deduzioni:

Come già si è ricordato, v'è una grande differenza fra le caratteristiche delle coperture morte prodotte da detriti vegetali di piante resinose e quelle invece derivate da alberi fronzuti. Già secondo ricerche di JOFFE (1932) il contenuto medio in ceneri delle prime oscillerebbe su 2.54% mentre quello delle seconde, su 6.63%. Rispetto al contenuto in calcio le resinose, ad eccezione del larice, presenterebbero i valori più bassi e fra esse i pini ne sarebbero i più poveri.

Il carbonio organico oscilla fra 45.5 e 58.7%, con una media del 50% sulla sostanza secca.

Il rapporto C/N avrebbe oscillato per lo più fra 35 e 45. Un rapporto stretto avrebbe indicato una lignificazione dei tessuti poco accentuata od un più alto contenuto in azoto; sarebbe stato comunque un buon indice del potere di decomposizione delle coperture morte.

Per quanto riguarda il complesso totale delle sostanze solubili in acqua le piante fronzute si erano dimostrate più ricche fornendo circa un quarto del peso secco, ad eccezione del faggio che ne cedeva solo circa il 10%; le conifere, ad eccezione del larice, si mostravano molto più povere cedendo solo una quantità inferiore al 10% del peso secco.

Riguardo alle sostanze minerali idrosolubili, ossia quelle che si liberano facilmente all'inizio della decomposizione delle foglie e che pertanto rappresentano prodotti facilmente assimilabili per i microrganismi, le ricerche eseguite hanno messo in evidenza una quantità oscillante fra 1.32 e 4.64%. Per quanto riguarda il calcio si rilevava che mentre le latifoglie ne liberavano subito una grande quantità, ammontante anche ad un quarto del totale, le conifere lo liberavano molto difficilmente; esse pertanto non solo ne contenevano piccole quantità, ma anche in forme poco solubili.

---

[1]) Op. cit.

Fra le sostanze organiche solubili in acqua fredda si sono riscontrati idrati di carbonio, amminoacidi, peptidi e composti fenolici.

Il colore degli estratti acquosi delle coperture morte fornite dagli alberi fronzuti quali il carpino, l'olmo, la quercia, la betulla e l'acero, si sono mostrati più intensamente colorati che non quelli delle conifere (e del faggio) per una maggiore compartecipazione di sostanze tanniche.

Ricorderemo in proposito che altre ricerche compiute sulle sostanze microbicide contenute da estratti acquosi di residui vegetali hanno permesso di identificare in esse la presenza di vari fenoli derivati da costituenti delle membrane cellulari; inoltre di composti con caratteri tannici i quali a causa della loro tossicità attenuano l'attività biologica e sono nel contempo causa diretta della reazione acida coll'effetto di conservare ulteriormente il materiale originario [1]).

Molto probabilmente questa è la causa che rallenta la decomposizione delle coperture morte di quercia *(Q. pedunculata)* non ostante l'alto contenuto in sostanze idrosolubili. Essa, nelle esperienze di WITTICH citate da LOSSAINT viene quasi ultima in graduatoria, ossia dopo l'olmo, l'ontano, il frassino, la robinia, il carpino precedendo la betulla ed il faggio.

Anche la frazione solubile in etere può dare buone indicazioni sulla rapidità della decomposizione, essendo essa composta principalmente da grassi, cere e resine di lenta decomposizione.

Sia infine ricordato che tanto le foglie del faggio quanto gli aghi delle conifere a causa delle loro cuticole (cerose nel primo caso e spesse nel secondo) offrono una particolare resistenza a rammollirsi e di conseguenza pure contro l'attacco dei microrganismi.

Si è detto che col progredire dell'umificazione l'acidità tende ad esaltarsi, pertanto i livelli più vecchi dello strato organico di copertura tendono ad acquistare un grado sempre maggiore di acidità.

Ne consegue che lo strato organico di copertura costituisce una sorgente sempre rinnovellantesi di sostanze organiche acide, in gran parte solubili o disperdibili in acqua. Qualora non trovino una congrua quantità di basi atte a neutralizzarle esse si spostano facilmente nello spessore del terreno seguendo la direzione delle acque di infiltrazione, e pertanto lungo una direttrice diretta in definitiva verso il basso. Ma queste sostanze acide non sono senza effetto sulla parte minerale del suolo colla quale prima o poi vengono a contatto. Esse determinano, rinforzano, intensificano la demolizione dei minerali intaccabili, li scom-

---

[1]) SCHEFFER, F.-ULRICH, B.: *Humus und Humusdüngung*. Stuttgart, 1960. Pag. 184 e 196.

pongono, captano gli elementi liberi e li trasformano, trascinano in basso, in parte asportandoli completamente dal terreno, in parte ridepositandoli ove le condizioni del mezzo siano favorevoli. Ciò ha luogo per lo più in profondità, vicino alla roccia madre, ove l'ambiente è più ricco di elettroliti, i quali concorrono a neutralizzare l'acidità delle sostanze, a flocculare le soluzioni colloidali, costringendole a fermarsi e a depositarsi. Ne deriva così lo sviluppo di un orizzonte superiore impoverito di sostanze minerali e di particelle sottili, colloidali (A) e di un livello inferiore arricchito con esse (B). Si osserva cioè la formazione di un orizzonte di eluviazione, di impoverimento, verso l'alto, e di uno di illuviazione, o di arricchimento, verso il basso.

Il fenomeno più appariscente della podzolizzazione è pur sempre quello dello sbiancamento di un orizzonte superiore del terreno quale conseguenza del suo abbandono da parte dei composti del ferro.

E' pertanto giustificato riconoscere come lo studio di questo fenomeno abbia costituito già da molto tempo oggetto di indagine e di ricerche sperimentali.

Si è già detto che non è solo il ferro che lascia questo orizzonte (A_2), ma anche l'alluminio ed altre sostanze minerali; il ferro, tuttavia, costituisce la manifestazione più appariscente del fenomeno e su esso pertanto si sono maggiormente concentrate le indagini degli studiosi. Le interpretazioni affacciate sono state varie ed in verità diversi possono essere i modi con cui tale fenomeno si effettua.

Una prima constatazione, di grande importanza, consiste nel fatto che una migrazione del ferro allo stato di autentica soluzione, ossia allo stato di ioni trivalenti, è estremamente difficile perché ciò richiederebbe un grado di acidità così elevato che raramente si può riscontrare in un terreno.

Giova ricordare, infatti, che già ad un pH 2.5 gli ioni ferrici cominciano a divenire instabili, manifestando la tendenza ad idrolizzarsi; a pH 3 già inizia a prevalere la concentrazione di $Fe(OH)^{++}$ su quella di Fe^{+++}; a pH 3.5, poi, già tende a separarsi allo stato di idrossido $Fe(OH)_3$.

Ma neppure in questo stato, ossia in forma di dispersione colloidale, è possibile una facile migrazione autonoma del ferro perché il ferro idrato è molto instabile e viene facilmente flocculato dagli elettroliti ed in modo particolare dai sali di calcio, oppure viene fortemente fissato da colloidi ad opposta carica elettrica (negativa).

Appare pertanto evidente come una sua migrazione nel terreno non possa aver luogo che con la protezione di altri colloidi, o in combinazioni varie con altre sostanze più facilmente spostabili nello spessore della massa terrosa.

Ed ecco che la ricerca dei colloidi protettori ha portato all'accertamento di diverse possibilità.

Già nel 1913 AARNIO [1]) occupandosi col problema della migrazione del ferro nei Podzol aveva posto in evidenza che mescolando piccole quantità di un *sol* ferrico con una soluzione colloidale di acido umico non aveva luogo alcuna precipitazione. Quest'ultima aveva inizio solo quando si raggiungevano certi rapporti quantitativi fra entrambi per sospendersi nuovamente in presenza di un eccesso di idrato ferrico, nel qual caso si constatava che la carica negativa della soluzione colloidale umica veniva trasformata in positiva.

La stessa cosa aveva luogo coll'allumina.

Lo studio su questi rapporti metteva in evidenza che la flocculazione si manifestava nei rapporti di 0.2 - 3 di humus per 1 di Fe_2O_3 e di 1 - 30 per 1 di Al_2O_3 [2]).

Risultati molto simili venivano raggiunti anche da altri studiosi.

Da queste ricerche si poteva dunque constatare come un eccesso di acido umico poteva esercitare un'azione protettiva sul ferro e sull'alluminio sì da permettere il loro trasferirsi entro lo spessore della massa terrosa.

Più recenti ricerche di DEB [3]) misero in evidenza che l'humus poteva trasportare da 3 a 10 volte il suo peso di ossido di ferro e che le differenti frazioni della sostanza organica presentavano varia efficacia nel proteggere gli ossidi.

Anche gli studi di SCHNITZER e SKINNER sulla sostanza organica estratta dall'orizzonte B_h di terreni podzolizzati hanno messo in evidenza il forte potere complessante di questa sostanza organica per il ferro (ferrico) ed in minor misura per l'alluminio. Una quantità corrispondente ad un *mol* di questa sostanza organica preveniva la flocculazione di sei *moli* di ferro ferrico; viceversa di circa uno solo di alluminio. Mentre così 0.16 *moli* di sostanza organica erano sufficienti per 1 *mol* di ferro, per l'alluminio ne occorrevano 1.1.

Il peso molecolare di questa sostanza organica era di circa 670 e la sua formula $C_{21}H_{12}(COOH)_6.(OH)_5(CO)_2$. Un gruppo carbossilico era pertanto equivalente ad un atomo di ferro [4]).

Si affacciava pertanto l'ipotesi che nei Podzol non appena il calcio ed altri cationi flocculanti venivano dilavati dal terreno si rendeva

---

[1]) AARNIO, B.: *Experimentelle Untersuchungen zur Ausfällung des Eisens in Podsolböden.* Intern. Mitt. Bdk. 1913 pag. 134. (Da BLANCK'S *Hb.d. Bodenlehre.* Vol. I. Pag. 212).

[2]) STREMME, H.: *Bleicherdewaldböden oder podsolige Böden.* In BLANK'S Handbuch der Bodenlehre. B. III. Berlin, 1930. Pag. 156.

[3]) DEB, B.C.: *The movement and precipitation of iron oxides in podzol soils.* J. Soil Science, 1949. In STOBBE, P.C.-WRIGHT, J.R.: *Modern concepts of the genesis of Podzols.* Soil Science S.A. Proceedings. Vol. 23. N. 2. 1959. Pag. 162.

[4]) SCHNITZER, M.-SKINNER, S.I.M.: *Organo-metallic interactions in soils: 1. Reactions betwen a number of metal ions and the organic matter of a Podzol B_h horizon.* « Soil Science » Vol. 96. N. 2. 1963. Baltimore.

possibile non solo un alto grado di dispersione ai colloidi umici, ma anche una possibilità di movimento. Essendo normalmente la loro quantità eccedente rispetto a quella dei sesquiossidi ferroalluminici potevano esplicare un'azione di protezione e trascinarli così in profondità ove mutate condizioni di ambiente (ricchezza di elettroliti) potevano determinare la loro precipitazione.

Si faceva altresì notare che la stabilità di questi complessi umico-ferrici veniva fortemente influenzata dalla ricchezza della soluzione del terreno in ioni di calcio liberi. Più alto era questo tenore e maggiori quantità di sostanza organica si rendevano necessarie per mantenere il ferro in soluzione.

Altri studi mettevano a lor volta in evidenza l'azione protettiva manifestata dalla silice colloidale.

Già nel 1928 ricerche di SIMAKOW citate da GEDROIZ [1]) mettevano in evidenza che la reciproca flocculazione di soluzioni colloidali di ferro o di alluminio e di silice aveva luogo quando ad 1 parte di Fe_2O_3 corrispondevano 1 - 1.6 parti di SiO_2 e ad 1 parte di Al_2O_3 7.2 - 16.0 parti di SiO_2.

Altre interessanti ricerche sull'azione di protezione esercitata dalla silice colloidale sui sesquiossidi ferroalluminici venivano rese note da REIFENBERG nello studio delle « terre rosse » mediterranee [2]). Anche esse mettevano in evidenza il fatto già noto che piccole quantità di silice oppure un suo eccesso non determinavano la flocculazione delle soluzioni colloidali del ferro (idrato); inoltre che mentre il carbonato di calcio determinava una immediata flocculazione dell'idrato ferrico, i *soli* ferrisilicici si dimostravano straordinariamente resistenti contro tale coagulazione.

Nel 1938 e successivamente nel 1944 ricerche di DEMOLON e di BASTISSE [3]) sulla migrazione del ferro nei Podzol e nelle terre rosse ponevano in nuovo risalto l'importanza dei complessi ferrisilicici per la migrazione del ferro nel terreno.

Essi fanno presente che inizialmente questi complessi ferrisilicici non possono formarsi in soluzioni diluite, ma solo in quelle relativamente concentrate, come per esempio avviene fra *geli* che si formano alla superficie di minerali in fase di alterazione. Le acque meteoriche

---

[1]) SIMAKOW, W.: Koll. Zeitschr. 1928. Citazione di GEDROIZ in *Die Lehre vom Adsorptionsvermögen der Böden.* 1931 (Pag. 349-350).

[2]) REIFENBERG, A.: *Die Entstehung der Mediterran-Roterde (Terra rossa).* Dresden-Leipzig, 1929.

[3]) DEMOLON, A.- BASTISSE, E.M.: *Sur quelques complexes colloidaux du fer et d'aluminium.* Annales Agronomiques. N° 1.1938. Paris.

Rôle vecteur de la silice dans les phénomènes géochimiques et physiologiques. Ivi. 1944. N. 3.

che si infiltrano nel terreno li sposterebbero poi dal loro luogo di formazione (orizzonte A), e tanto più lontano quanto più le soluzioni circolanti sono povere di calcio ed in genere di elettroliti. Non appena poi in queste soluzioni circolanti si sarebbe raggiunta una certa concentrazione in CaO si determinerebbe la flocculazione del complesso.

Particolarmente importanti sono i risultati delle loro ricerche sulle caratteristiche di questi prodotti flocculati.

Il primo flocculato, di tinta giallastra, avrebbe un rapporto SiO_2 : Fe_2O_3 minore che non la soluzione iniziale del complesso ferrisilicico; nella soluzione pertanto, resterebbe ancora una certa quantità di silice e di ferro, e più precisamente quantità molto maggiori di silice che non di ferro; un complesso cioè ferrisilicico capace a resistere a maggiori concentrazioni di calcio essendo così in grado di attraversare tutto il terreno ed eventualmente di abbandonarlo con le acque di percolazione.

La parte flocculata che si era deposta a una certa profondità sulle particelle del terreno non sarebbe definitivamente fissa; sibbene non appena, alla fine dei periodi piovosi, la concentrazione del calcio scenderebbe sotto ad un valore ritenuto critico, di 4 m.e. di CaO per litro, potrebbe ulteriormente disperdersi, scendere ulteriormente nella massa terrosa ed eventualmente venire nuovamente flocculata. Il colore del nuovo deposito sarebbe però ora più rosso del precedente ed il rapporto in peso fra SiO_2 e Fe_2O_3 più piccolo.

Il nuovo flocculato è ora più sensibile all'azione del calcio e pertanto in grado di spostarsi sempre meno per finire a dare origine ad un sottorizzonte di B (B_1, B_2, B_3) di vario spessore e colore, secondo la natura del terreno e le condizioni climatiche.

Ricerche sperimentali avrebbero dimostrato che il contenuto in Fe_2O_3 totale dei flocculati varierebbe molto poco in seguito a successive flocculazioni e dispersioni; il contenuto in silice, invece, come pure quello del calcio, diminuirebbe costantemente, con la conseguenza di dare prodotti via via più ricchi di ferro e più colorati.

Le seguenti cifre illustrano meglio quanto ora esposto.

Composizione di un flocculato ferrisilicico precipitato con un sale di calcio

				Rapporto molecolare riferito ad 1 di Fe_2O_3		
	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	SiO_2 :	Fe_2O_3 :	CaO
I precipitazione	330.5	156.5	25.05	5.60	1	0.45
II precipitazione	136.0	150.0	5.72	2.40	1	0.10

Analoghe conclusioni si riferiscono all'alluminio che con la silice dà luogo a complessi alluminosilicici pseudosolubili, similmente ai ferro-

e ferrisilicati. Questi complessi, tuttavia, sono molto più resistenti all'azione dei sali di calcio, trovano il loro valore critico a 150 m.e. di CaO per litro; tuttavia i loro flocculati non sarebbero più disperdibili nell'acqua in seguito a lavaggio, ossia dopo l'eliminazione dell'agente flocculante, ciò dunque a differenza di quanto si era notato per i complessi ferro- e ferrisilicici.

Accuratamente lavati hanno dato la seguente composizione, che si è dimostrata pressoché costante:

SiO_2 262.0 mg; Al_2O_3 94.0 mg; CaO 36.8 mg.

l rapporto molecolare $SiO_2 : Al_2O_3 : CaO$, riferito ad 1 di Al_2O_3, sarebbe di 4.72 : 1 : 0.66.

Nello stesso anno (1938) LAATSCH [1]) portava ulteriori interessanti notizie sul chimismo colloidale che si manifesterebbe nei processi della podzolizzazione del terreno.

In un mezzo neutro o debolmente acido l'idrato di ferro e quello di alluminio (elettropositivi) si unirebbero alla silice colloidale (elettronegativa) per dare complessi silicoferrici e silicoalluminici. Col progredire del dilavamento delle basi solubili e col conseguente instaurarsi di un ambiente vieppiù insaturo, acido, comincerebbe a farsi sentire l'influenza degli acidi umici (qualora presenti). Essi tenderebbero a sostituirsi alla silice nella funzione di legarsi coi due sopraricordati idrati. L'intensità del fenomeno, tuttavia, molto risentirebbe della reazione del mezzo e delle caratteristiche stesse degli idrati ferroalluminici.

Quest'ultimi, infatti, sarebbero basi molto deboli e per di più con carattere anfotero. Pertanto in un mezzo acido (e neutro), ossia in presenza di un'alta concentrazione di ioni idrogeno, manifesterebbero le caratteristiche di una base; mentre in un mezzo alcalino, ossia ad elevata concentrazione in ioni ossidrile, quello di un acido.

Evidentemente questa diversità di comportamento presupporrebbe pure un cambiamento della carica elettrica delle particelle, che da positiva diverrebbe negativa. Vi sarebbe così un momento in cui le singole particelle colloidali possederebbero uno stesso numero di cariche, sia positive, che negative, sarebbero cioè neutre o, più esattamente, isoelettriche.

Osservazioni eseguite sulle soluzioni al momento in cui queste particelle colloidali avrebbero raggiunto lo stato isoelettrico avrebbero dimostrato che mentre per l'idrato di alluminio (derivato dal rispettivo cloruro) esso si manifesterebbe a pH 8.1, per il ferro questa soglia verrebbe raggiunta molto prima, ossia a pH 7.1. L'idrato ferrico -$Fe(OH)_3$- sarebbe così una base più debole dell'idrato di alluminio -$Al(OH)_3$-; pertanto per mutare la sua carica sarebbe necessaria una

---

[1]) LAATSCH, W.: *Dynamik der deutschen Acker- und Waldböden.* Dresden -Leipzig, 1938.

minore quantità di ioni OH che non per l'allumina. A sua volta ne consegue che ad un determinato pH l'allumina sarebbe in grado di neutralizzare una quantità maggiore di acido che non il ferro e che i suoi sali offrirebbero una maggiore resistenza verso la scissione elettrolitica che non quelli del ferro. A lor volta i complessi silicoalluminici, a parità di altre condizioni, sarebbero più stabili che non i complessi silicoferrici.

Gli idrati di alluminio e di ferro che allo stato isoelettrico sarebbero indissociati, via via che l'acidità del mezzo aumenta, oppure quello dell'alcalinità, andrebbero vieppiù dissociandosi secondo il seguente schema:

$$Al(OH)_3 \rightarrow Al(OH)_2^{+} + OH^{-} \rightarrow Al(OH)^{++} + 2\,OH^{-} \rightarrow AL^{+++} + 3\,OH^{-}$$

$$Al(OH)_3 \rightarrow AlO(OH)_2^{-} + H_2O \rightarrow AlO_2(OH)^{--} + H_2O \rightarrow AlO_3^{---} + H_2O$$

Ne deriverebbe che gli idrati di alluminio e di ferro sarebbero capaci di legare una quantità tanto minore di silice, o di acido umico, quanto più bassa sarebbe la concentrazione in ioni idrogeno, perché coll'aumentare del grado pH diminuisce il loro carattere di base fino a sparire del tutto a pH 8.1, rispettivamente a pH 7.1.

La possibilità di legare la silice da parte dell'idrato ferrico in modo da poter dare un prodotto stabile andrebbe da pH 7.1 a 5.0.

Sotto pH 5 la dissociazione della base sarebbe così grande, da non poter più dar luogo ad un *gelo* stabile.

Per l'alluminio la soglia critica sopporterebbe un lieve aumento di acidità, circa pH 4.7, ma tosto nelle soluzioni si nota presenza di una certa quantità di alluminio libero e pertanto solubile; sotto pH 4 gli ioni Al^{+++} sarebbero già predominanti [1]).

Ricordano, infatti, BLANCHET e collab. che l'alluminio estraibile dai terreni a mezzo di sali neutri non si rinviene, in quantità notevoli, che nei terreni nettamente acidi, ossia con pH fra 4 e 5. La solubilità dell'alluminio è allora apprezzabile e ioni Al^{+++} possono allora trovarsi allo stato scambiabile [2]).

Si ricorda altresì, in proposito, che qualora la concentrazione in alluminio nella soluzione del suolo sia di circa 1 mg per litro, già può avere azione tossica sulla vegetazione, ed in modo particolare sui cereali.

LAATSCH fa inoltre presente che qualora i valori pH scendessero sotto pH 4, non avrebbe più luogo una unione fra silice e idrati di ferro e di alluminio.

In conclusione secondo questo autore nel processo della podzolizzazione che si compie in un mezzo acido ed in presenza di sostanze organiche umificate acide, al posto della silice potrebbero subentrare

---

[1]) Vedi pure SCHEFFER-ULRICH: *Humus und Humusdüngung* (2 Aufl.) Stuttgart; 1960. Pag. 189.

[2]) BLANCHET, R. e collab.: *Acidité d'échange et aluminium libre ou échangeable des sols.* Annales Agronomiques. N. 6. 1960. Paris.

gli acidi umici dando luogo alla formazione di complessi umicoalluminici e umicoferrici colloidali, talora tuttavia senza una completa sostituzione della silice.

Le possibilità di legame degli acidi umici con gli idrati di ferro, di alluminio e della silice sarebbero pertanto molteplici in seguito a parziali sostituzioni, in modo da dare complessi silico-umico-alluminoferrici.

Nel sottosuolo, ove regna una minore acidità, i composti che migrano allo stato di *sol* riprecipiterebbero divenendo insolubili.

Circa la diversità di colore dei *geli* ferroumici [1]) nell'orizzonte B e la loro causa si sarebbe rilevato che i più ricchi di ferro, di colore rossastro prevarrebbero in un mezzo neutro o debolmente acido; sarebbero più sensibili alla variazione del mezzo e tenderebbero a precipitare più facilmente degli altri; quelli bruno neri sarebbero più poveri di ferro ma più ricchi di humus e si rinverrebbero in un mezzo fortemente acido. Un tanto starebbe pure in relazione colla natura anfotera del ferro le cui caratteristiche basiche, e con esse la capacità di legare acidi umici, sarebbe tanto più spiccata quanto più è acida la soluzione.

Sia infine ricordato che anche l'acido fosforico può esplicare una azione protettiva similmente a quella della silice e degli acidi umici. Lo hanno messo in evidenza DEMOLON e BASTISSE [2]) per i quali questi complessi ferrifosforici starebbero spesso all'origine degli accumuli di fosfato ferrico rinvenuti nei livelli profondi di certi terreni, e che in seguito potrebbero anche cristallizzare in forma di vivianite — $Fe_3(PO_4)_2\,8\,H_2O$ — o di altri minerali.

Anche BLANCHET [3]) fa presente che in presenza di ioni fosforici (PO_4) in terreni acidi si possono formare fosfati di alluminio poco o punto solubili, quali per esempio la *variscite*, $AlPO_4.2H_2O$, o PO_4H_2-$Al(OH)_2$, la cui composizione sarebbe la seguente: Al 17.08%, PO_4 60.12%, H_2O 22.80% [4]).

Evidentemente data la scarsità di fosforo nel terreno questo tipo di spostamento dei sesquiossidi ferroalluminici dovrebbe avere un valore del tutto secondario.

Queste teorie basate sul principio dell'azione di protezione ad opera di altri colloidi per effettuare lo spostamento dei sesquiossidi ferroalluminici dagli orizzonti superiori del terreno sembravano aver detto l'ultima parola sul meccanismo della podzolizzazione. Ma non fu così,

---

[1]) Humus-Eisen-Gele (Op. cit. Pag. 209).

[2]) DEMOLON, A.-BASTISSE, E.M.: *Sur quelques complexes colloidaux du fer et de l'aluminium*. Annales Agronomiques. N. 1. 1938. Paris.

[3]) BLANCHET, R. e coll.: Op. cit.

[4]) DEMING, M.E.-CATE, W.E.: *Preparation of variscite*. Soil Science. Vol. 95. 1963. N. 3. Pag. 207.

perché già si prospettavano le difficoltà di una loro generale applicazione. A parte il fatto che molti Podzol avevano dimostrato di possedere nell'orizzonte B una quantità di cationi bivalenti così scarsa da rendere per lo meno molto dubbia la possibilità di una flocculazione dei colloidi ad essi riferibile, altre esperienze avevano a lor volta messo in evidenza che non sempre un terreno calcareo era in grado di arrestare il ferro protetto da sostanza organica umificata [1].

Anche SCHEFFER [2]) ritiene che la migrazione del ferro a mezzo dell'azione protettiva di colloidi liofili, quali humus e silice, sarebbe da porsi in dubbio; essa potrebbe valere solo, piuttosto, per qualche forma di lisciviazione.

A sua volta KONONOVA [3]) fa presente che il modo di concepire la migrazione dei sesquiossidi sotto l'azione protettiva di altri colloidi avrebbe dato luogo a critiche, perché in disaccordo con le osservazioni naturali. Si sarebbe stati invece più propensi ad attribuire particolare importanza non a tutto l'humus, ma alla sua parte acida più mobile, ossia agli acidi fulvici, che avrebbero spostato i sesquiossidi ferro-alluminici principalmente in forma di composti complessi.

Prende così il sopravvento la teoria del potere complessante della sostanza organica e dei chelati, che trova lo spunto negli studi a suo tempo eseguiti da BERZELIUS, GERMAN e MULDER sulla pronta solubilità dei crenati di ferro e di alluminio come pure di calcio e di magnesio; così pure in tempi più recenti, ossia al principio del XX secolo, da quelli di SIBIRCEF che vedeva nel processo della podzolizzazione un effetto dell'azione degli acidi crenici (termine all'incirca equivalente a quello degli acidi fulvici dei nostri giorni) sui costituenti inorganici del suolo. Essi, trasformati così in composti solubili sarebbero migrati in profondità ove avrebbe avuto luogo la trasformazione dei crenati in apocrenati insolubili, dando origine all'orizzonte B.

Con tutto ciò però, in un primo tempo è ancor sempre più la forma dell'interpretazione che non la sostanza del concetto sul meccanismo dell'azione di protezione della sostanza organica del terreno, che ancor sempre ricorre. Si parla cioè ancora di un forte effetto protettivo degli acidi crenici verso i *soli* del ferro, e di uno più debole verso l'alluminio; si preferisce però riferirsi ora ad un complesso metallorganico che possiede un'alta mobilità nel mezzo acido in cui si va formando il Podzol, e che si sposta in forma di *sol* altamente disperso

---

[1]) DEB, B.C.: *The movement and precipitation of iron oxides in podzol soils.* J. Soil Science. 1949.

STOBBE, P.C.-WRIGHT, J.R.: *Modern concepts of the genesis of Podzols.* Soil Science S.A. Proceedings. Vol. 23. N. 2. 1959.

[2]) SCHEFFER-ULRICH: Op. cit. Pag. 189.

[3]) KONONOVA: Op. cit. Pag. 172-173.

per poi precipitare in forma di *gel* negli orizzonti inferiori del suolo ove la reazione è pressoché neutra [1]).

Ed ancor si legge che gli acidi umici vanno considerati quali sistemi di polimeri i cui membri più bassi della serie sono per molte proprietà simili agli acidi crenici e apocrenici, e che pertanto in quei terreni ove predominano acidi umici di semplice struttura, come avviene nei Podzol la loro partecipazione alla pedogenesi è molto simile a quella degli acidi crenici ed apocrenici.

In seguito gli studi che indagano sempre più accuratamente questi legami fra la sostanza organica umificata ed i sesquiossidi ferroalluminici mettono in evidenza la possibilità di legami più specifici che possono far capo a fenomeni « complessanti » rappresentanti tanto forme più semplici, di « sequestro », ossia di cattura, di ioni metallici da parte della sostanza organica umificata del terreno; quanto legami più saldi, come nel caso dei « chelati » [2]).

Il « sequestro », o « cattura », non costituirebbe una specifica reazione chimica; si tratterebbe per lo più di una reazione in seguito alla quale uno ione metallico verrebbe fortemente complessato in modo che, pur rimanendo in soluzione, perderebbe molte delle sue più specifiche caratteristiche [3]). Fra questo modo di « complessare » ossia di fissare in forme complesse il ferro e l'alluminio, rientra il cosiddetto tipo di WERNER nel quale gli ioni complessanti circondano lo ione metallico senza essere legati fra loro, a differenza di quanto avviene nei chelati che nella loro concezione originaria figurano quali complessi nei quali due o più molecole sono legate fra loro con legami omopolari dando luogo a formazione di cicli con lo ione centrale imprigionato come in una tenaglia [4]).

---

[1]) KONONOVA: Op. cit. Pag. 173.

[2]) Gli ioni dei metalli in soluzione acquosa sono più o meno fortemente legati a molecole di acqua che in qualità di dipoli sono orientate in modo che la parte negativa, ossia l'ossigeno, è diretta verso il metallo, positivo.

Quando queste molecole di acqua sono sostituite da altre molecole o ioni ne risulta un insieme detto « complesso » metallico. Il gruppo che si combina con lo ione del metallo viene detto « legante », e siccome la sua funzione in definitiva è quella di dare (donare) elettroni al metallo viene anche chiamata molecola o ione « donatore ».

I chelati sono complessi nei quali gli atomi donatori sono attaccati tanto fra loro quanto al metallo, per cui quest'ultimo diviene parte di un anello eterociclico. (CHABEREK, S.-MARTELL, A.E.: *Organic sequestring agents*. New York. 1959. Pag. 2-5).

Anche STOBBE e WRIGHT considerano i chelati quali complessi che si formano quando la sostanza che si combina col metallo contiene due o più gruppi donatori, sì da formare uno o più anelli. Il donatore è pertanto considerato un agente chelante. (STOBBE, P.C.-WRIGHT, J.B.: Op. cit. Pag. 163).

[3]) LEHMAN, D.S.: *Some principles of chelation chemistry*. Soil Science S.A. Proceedings. Vol. 27. N. 2. 1963. Pag. 168.

[4]) LOSSAINT: Op. cit. N. 5. Pag. 523.

Il chelato acquista così un significato più specificatamente chimico; si tratta di una reazione di equilibrio fra uno ione metallico ed un agente complessante caratterizzato da legami che portano alla formazione di una struttura ciclica nella quale lo ione metallico viene incorporato [1]).

La stabilità dei chelati in genere aumenta coll'aumentare della carica dello ione metallico (da qui la maggiore stabilità dei chelati ferrici che non quelli ferrosi); aumenta parimenti col numero e la grandezza degli anelli formati fra la molecola chelante e lo ione metallico; vi influiscono poi altri fattori fra i quali la natura degli atomi « donatori », la reazione del mezzo, ecc. [2]).

Ma nella sostanza organica del terreno vi sono inoltre anche sostanze organiche chimicamente ben definite suscettibili di intervenire nella solubilizzazione e trasporto del ferro. I polifenoli, ad esempio, sotto questo riguardo hanno una grande importanza sia come agenti solubilizzanti, riducenti e complessanti; negli estratti acquosi delle foglie essi si sono dimostrati i principali chelanti. Così pure i tannini e sostanze affini.

Vi concorrono poi pure acidi organici a basso peso molecolare quali l'acido ossalico, tartarico, malico e citrico. In modo particolare l'acido citrico ed ossalico, in un mezzo acido, avrebbero la capacità di solubilizzare gli idrossidi del ferro con formazione di composti complessi che poi coagulerebbero in un mezzo neutro o alcalino.

Questi acidi organici a basso peso molecolare sono presenti in forma di sali nei residui vegetali freschi, o si formano durante il processo della decomposizione [3]). Va tuttavia fatto presente che il loro contributo alla pedogenesi ha scarsa importanza in quanto che questi sali non sono stati trovati nel terreno in quantità apprezzabili perché facilmente decomponibili. Maggiore importanza possono acquistare in terreni palustri, ove la mancanza di ossigeno ostacola la decomposizione della sostanza organica e possono pertanto trovarsi in maggiori quantità.

Altre sostanze organiche con proprietà chelanti sono state segnalate nel complesso organico del terreno; chinoni, acidi uronici, proteine, acidi alifatici, amminoacidi, acidi fitinici, clorofilla, glucosidi fenolici, auxine, ecc. [4]).

Altri complessi metallorganici possono inoltre formarsi in seguito ad azioni di scambio ionico, per adsorbimento ed in tutti gli altri modi a suo tempo passati in rassegna [5]).

---

[1]) LEHMAN: Op. cit. Pag. 167.

[2]) Ivi.

[3]) RODE: Op. cit. Pag. 121.

[4]) MORTENSEN, J.L.: *Complexing of metals by soil organic matter*. Soil Science S.A. Proceedings. Vol. 27. N. 2. 1963.

[5]) COMEL, A.: *La sostanza organica del terreno*. Pubbl. N. 60 dei « Nuovi Studi della Stazione chimico-agraria sperimentale di Udine ». Udine. 1963.

Da quanto esposto si deduce che in base a questa teoria il ferro e l'alluminio legati in varia forma di complessi alla frazione più mobile della sostanza organica del terreno, e quindi principalmente a quella degli acidi fulvici, si sposterebbero nella massa terrosa fino a trovare un livello ove mutate condizioni ambientali determinerebbero il loro arresto. Qui la funzione chelante potrebbe cessare automaticamente per principio chimico in seguito a rottura del chelato [1]) oppure per scomparsa della sostanza organica intaccata e scomposta dai microrganismi del suolo. Il ferro (e l'alluminio) si separerebbero così allo stato di idrato dando luogo ad un arricchimento in essi del livello (B) del suolo.

Riguardo a questo modo di vedere si può far presente che l'esperimento in laboratorio eseguito da WRIGHT e SCHNITZER [2]) su un terreno calcareo praticamente privo di sostanza organica a mezzo di una sostanza chelante (sale bisodico dell'acido etilendiamminotetracetico -EDTA-) è pienamente riuscito. Dopo 17 mesi di lisciviazione si ottenne un profilo simile a quello di un Podzol.

D'altro canto, anche recentemente, MORTENSEN [3]) fa presente che nonostante molti siano i componenti della sostanza organica del terreno atti a formare chelati, tuttavia una dimostrazione inequivocabile in merito si potrà avere solo quando i complessi metallorganici saranno completamente identificati e caratterizzati.

Pure STOBBE e WRIGHT [4]) ritenevano che sebbene le teorie sulla formazione dei complessi metallorganici e possibili prodotti di chelazione fossero ragionevoli sarebbero tuttavia state necessarie molte altre documentazioni prima di poter definitivamente concludere che questi processi hanno effettivamente il ruolo principale nella formazione dei podzol.

Circa lo stato di ossidazione in cui il ferro verrebbe spostato nel terreno in fase di podzolizzazione le idee degli studiosi non sono sempre concordi; ed invero entrambe le forme, ferrose e ferriche, ne possono essere coinvolte.

Se, infatti, è giusto riconoscere che i Podzol, in qualità di terreni che permettono una normale percolazione delle acque devono di conseguenza trovarsi pure in uno stato normale di aereazione, e che pertanto un'eventuale formazione di ferro ferroso dovrebbe avere solo una

---

[1]) Secondo WRIGHT e SCHNITZER agenti chelanti fortemente acidi avrebbero una costante di stabilità relativamente bassa. Mentre a bassi valori pH avrebbero un alto potere dissolvente per il ferro, esso diminuirebbe in seguito ad un progressivo innalzarsi di detto valore pH determinando infine la rottura del chelato e la deposizione del ferro in qualità di $Fe(OH)_3$. (*Metallo-organic interactions associated with Podzolization.* Soil Science S.A. Proceedings. Vol. 27. N. 2. 1963).

[2]) WRIGHT-SCHNITZER: Op. cit.

[3]) MORTENSEN: Op. cit. Pag. 183.

[4]) STOBBE-WRIGHT: Op. cit. Pag. 163.

durata effimera per tosto subire un rapido processo di ossidazione, è altresì vero che l'acidità del terreno determinata da sostanza organica favorisce la riduzione del ferro portandolo allo stato ferroso, forma più facilmente complessabile di quella ferrica.

Starebbe alla base di tale fenomeno di riduzione l'azione di certi composti organici (acidi carbossilici e polifenoli) ed in modo particolare l'azione delle sostanze tanniche che mentre hanno un'acidità titolabile molto elevata, hanno pure un forte potere riducente. Coll'aumentare della reazione avrebbero però tendenza ad ossidarsi e a perdere pertanto di efficacia [1]).

Anche ricerche di altri sperimentatori su estratti acquosi di foglie, avrebbero messo in evidenza il loro potere solvente nei riguardi dei sesquiossidi (idrati) ferroalluminici. In questo processo si avrebbe avuto dapprima una riduzione del ferro ferrico che si sarebbe effettuata anche in un mezzo aerobico, e poi la formazione di complessi organici stabili col ferro ferroso [2]).

Anche YARKOV avrebbe attribuito la formazione di complessi metallorganici all'interazione fra acidi fulvici ed altri a basso peso molecolare con composti ferrosi e non ferrici [3]); viceversa BÈRES avrebbe ritenuto che il legame del ferro ad opera degli acidi fulvici estratti da torba avrebbe avuto luogo in modo prevalente in forma di complessi ferrici, sebbene in un mezzo acido non sarebbe mancato nella soluzione ferro ferroso, nel qual caso però la stabilità del fulvato di ferro sarebbe diminuita. Secondo KONDRATJEW i legami avrebbero luogo con parziale riduzione a ferro ferroso [4]).

È quindi possibile che anche in un normale processo di podzolizzazione una parte del ferro, legata a composti organici, possa migrare allo stato ferroso.

CONCLUSIONE

La podzolizzazione del suolo è quel processo pedogenetico che si svolge sotto il predominio di una corrente acquea discendente, la quale, quasi sempre col valido concorso di sostanze organiche umificate acide facilmente solubili o disperdibili in acqua, determina una notevole acidificazione dei livelli superiori del suolo ed il dilavamento da essi delle basi e dei sesquiossidi idrati più comuni.

Le sostanze più solubili spesso si allontanano definitivamente dal terreno, altre precipitano nei livelli inferiori dando luogo ad un arric-

---

[1]) LOSSAINT: Op. cit. 1959. N. 5. Pag. 529.
[2]) STOBBE-WRIGHT: Op. cit. Pag. 162.
[3]) Ivi.
[4]) SCHEFFER-ULRICH: Op. cit. Pag. 78.

chimento di essi, talora accompagnato da fenomeni di cementazione, o da concrezioni, di varia durezza e compattezza.

Come avvenga questa migrazione in profondità del ferro e dell'alluminio non è ancora completamente chiarito, anche perché effettivamente diversi possono essere i modi con i quali tale fenomeno si effettua.

Prove sperimentali hanno praticamente esclusa la forma di soluzione autentica, ossia in qualità di ioni liberi, perché in questo caso, si richiederebbe la presenza di un mezzo tanto acido che difficilmente si raggiunge nelle normali condizioni di sviluppo dei Podzol; hanno inoltre fatto presente la difficoltà di una migrazione autonoma in forma di dispersione colloidale, per la grande sensibilità dei colloidi idrati di ferro verso l'azione flocculante di elettroliti e la forte tendenza ad essere fissati da colloidi a opposta carica elettrica.

Maggiore possibilità di successo si è prospettata per una migrazione in forma di colloidi protetti da altri colloidi meno sensibili alle variazioni del mezzo e facilmente spostabili nella massa terrosa. Sotto questo riguardo si è messa in evidenza l'azione esplicata in modo particolare dalla silice colloidale e dalla sostanza organica umificata.

Più recentemente si sono messi in particolare rilievo i diversi modi con i quali possono agire i vari componenti della sostanza organica umificata del terreno sul ferro e sull'alluminio, mettendo in evidenza la loro capacità complessante ed in modo particolare quella chelante. I metalli così legati dalla sostanza organica sarebbero in grado di spostarsi lungo il profilo del terreno dando luogo a quelle manifestazioni pedogenetiche che caratterizzano il Podzol.

Sono stati altresì messi in evidenza altri possibili legami fra composti organici del suolo e questi cationi metallici, legami che possono far capo tanto a reazioni chimiche quanto a fenomeni di adsorbimento o di altra natura, e non si è esclusa la possibilità che in certi casi si possa avere anche una diretta illuviazione meccanica dei sesquiossidi ferroalluminici negli orizzonti inferiori del suolo.

Per quanto riguarda le caratteristiche chimiche dei Podzol si è messo in evidenza che esse possono variare molto da luogo a luogo e fra terreno e terreno per un complesso di circostanze. Tutti hanno però in comune una caratteristica fondamentale: paragonate le caratteristiche chimiche dei vari orizzonti con quelle della sottostante roccia madre si nota che, rispetto a quest'ultima, il terreno possiede un livello superiore molto impoverito di basi e di sesquiossidi, ed uno inferiore più ricco delle une o delle altre o di entrambe queste sostanze. Le caratteristiche chimiche dei singoli orizzonti potranno però presentare forti variazioni fra due o più terreni. È naturale infatti che rocce madri di differente costituzione litologica e chimica possano dare terreni di diversa composizione chimica centesimale. Le caratteristiche del tipo climatico, però, non riposano su analogie di percentuali, ma su analogie di profilo, su analogie, cioè, che riguardano la distribuzione delle

singole sostanze riferite ad un piano verticale, quello, cioè, lungo il quale l'acqua si infiltra o risale e con essa le sostanze disciolte.

Un Podzol sarà sempre tale sia che esso si sviluppi su sabbie prevalentemente quarzose, sia su substrati argillosi; ovunque si rinvenga il dilavamento delle basi e dei sesquiossidi in superficie ed il loro accumulo in profondità, nell'ambito di una zona climatica umida favorevole allo sviluppo pedoclimatico dei Podzol, si parlerà sempre di un Podzol anche se la silice nel primo caso potrà ammontare al 90% e, nel secondo, invece, al 50%.

Come già a suo tempo ho avuto occasione di far presente [1]) lo studio dei terreni climatici esige che tutti gli orizzonti del profilo vengano esplorati ed analizzati (ciò a differenza dei terreni agrari il cui campionamento viene effettuato il più delle volte solo nei livelli più superficiali trascurando il resto). Solo così le analisi chimiche potranno portare a quelle conclusioni che si attendono dallo studio chimico del terreno stesso.

Per quanto riguarda le caratteristiche agrarie del Podzol esse si lasciano facilmente dedurre da quanto in precedenza esposto.

Il forte dilavamento delle basi si associa ad una grande povertà di elementi fertilizzanti. Da tempo, infatti, è noto come tutta la regione settentrionale fitoclimatica a foresta, con terreni fortemente podzolizzati, sia poco produttiva anche nei riguardi dell'incremento legnoso, e ciò non solo per cause climatiche, ma anche per quelle del terreno [2]).

Col dissodamento a scopo agricolo una delle prime cure dell'agricoltore dovrà essere quella di mescolare l'orizzonte superiore umifero (A_0 e A_1) col sottostante livello sbiancato A_2. Quest'ultimo, infatti, è particolarmente povero e spesso sterile, tant'è vero che anche allo stato naturale le radici delle piante che lo attraversano non emettono in sua corrispondenza radici laterali [3]).

Dovrà poi provvedere subito ad abbondanti calcitazioni per ridurre la forte acidità del suolo, per attivare la decomposizione della sostanza organica e la nitrificazione dei composti azotati che da essa si liberano.

Anche l'apporto di letame riescirà molto utile sia come fertilizzante, sia quale apportatore di una nuova flora batterica tanto utile per l'agricoltura.

Particolare attenzione dovrà essere rivolta all'orizzonte di accumulo B, perché, in considerazione della sua tenacità e durezza non solo determina spesso un arresto dell'umidità, con conseguenti possibili fenomeni di asfissia, ma può pure ostacolare la penetrazione delle

---

[1]) COMEL, A.: *Problemi di pedologia climatica nei climi caldo-aridi dell'Italia meridionale.* Boll. Soc. Geologica Ital. Vol. LVII. 1938. Fasc. 2.

[2]) WALTER: Op. cit. Pag. 53.

[3]) DUCHAUFOUR, PH.: *Pédologie.* Nancy. 1956. Pag. 205.

radici. Molto però influisce la sua distanza dalla superficie del suolo e dallo strato utile che resta a disposizione delle radici delle piante agresti.

Terreni fortemente podzolizzati sono pertanto di difficile redenzione, ma alla fine cedono alla tenacia ed all'intelligente intervento dell'agricoltore divenendo considerevolmente produttivi, specie per le varietà più rustiche e meno esigenti.

Mi sia concesso, infine, di esprimere un voto. A pag. 16 si è visto quanto complessa, e talora imperfetta, sia l'espressione in simboli dei vari orizzonti che caratterizzano il Podzol. Ritengo pertanto assolutamente necessario che in una conferenza internazionale ci si accordi sulla sua semplificazione e standardizzazione. Siccome poi le mancanze più gravi si riscontrano nei simboli che si riferiscono alla copertura morta, desidererei che con le lettere A_0 oppure F o L ci si intenda riferire a tutto l'orizzonte della copertura morta, e si contrassegnino gli eventuali suoi tre sottorizzonti, di cui si è parlato a pag. 8, con cifre al piede, come lo si fa per suddividere gli altri orizzonti del profilo. Si raggiungerà così una maggiore uniformità e chiarezza di concetto.

Riassunto

Dopo aver discusso l'ortografia del nome Podzol si passano in rassegna le caratteristiche dell'ambiente climatico propizio alla podzolizzazione e quelle del profilo del terreno. Ci si occupa poi col meccanismo della podzolizzazione passando in rassegna le varie teorie e gli studi eseguiti su questo argomento.

UDINE - TIPOGRAFIA ARTI GRAFICHE FRIULANE - 1964